

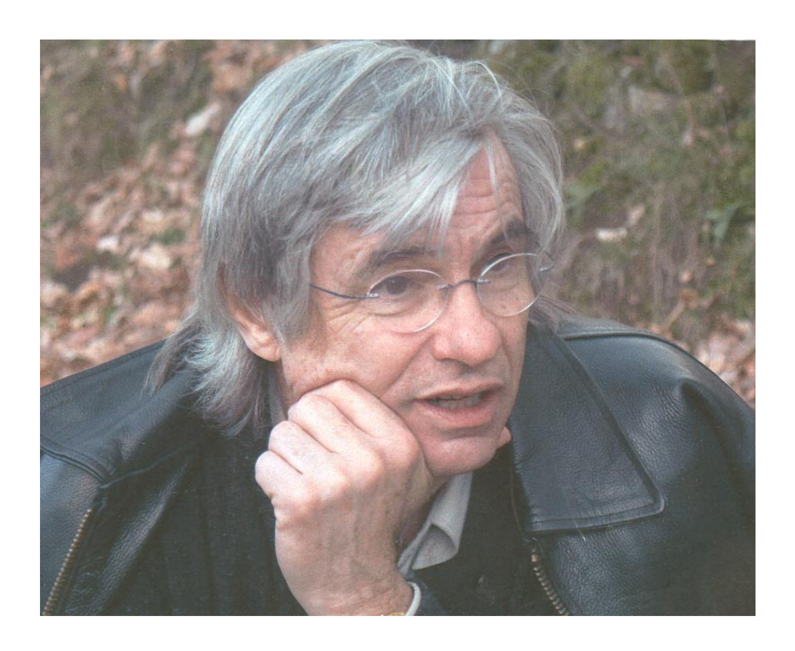
ÉNERGÉTIQUEMENT VÔTRE

par Jean~Pierre Petit



Savoir sans Frontières

Association Loi de 1901



Jean-Pierre Petit, Président de l'Association

Ancien Directeur de Recherche au Cnrs, astrophysicien, créateur d'un genre nouveau : la Bande Dessinée Scientifique. Crée en 2005 avec son ami Gilles d'Agostini l'association Savoir sans Frontières qui s'est donnée pour but de distribuer gratuitement le savoir, y compris le savoir scientifique et technique à travers le monde. L'association, qui fonctionne grâce à des dons, rétribue des traducteurs à hauteur de 150 euros (en 2007) en prenant à sa charge les frais d'encaissement bancaire. De nombreux traducteurs accroissent chaque jour le nombre d'albums traduits (en 2007 : 200 albums gratuitement téléchargeables, en 28 langues, dont le Laotien et le Rwandais).

Le présent fichier pdf peut être librement dupliqué et reproduit, en tout ou en partie, utilisé par les enseignants dans leurs cours à conditions que ces opérations ne se prêtent pas à des activités lucratives. Il peut être mis dans les bibliothèques municipales, scolaires et universitaires, soit sous forme imprimée, soit dans des réseaux de type Intranet.

L'auteur a entrepris de compléter cette collection par des albums plus simples d'abord (niveau 12 ans). Egalement en cours d'élaboration : des albums « parlants » pour analphabètes et « bilingues » pour apprendre des langues à partir de sa langue d'origine.

L'association recherche sans cesse de nouveaux traducteurs vers des langues qui doivent être leur langue maternelle, possédant les compétences techniques qui les rendent aptes à produire de bonne traductions des albums abordés.

Pour contacter l'association, voir sur la homepage de son site

http://www.savoir-sans-frontieres.com

Coordonnées bancaires France ➔ Relevé d'Identité Bancaire (RIB) :

Etablissement	Quichet	N° de Compte	Cle RIB
20041	01008	1822226V029	88

Domiciliation : La banque postale
Centre de Marseille
13900 Marseille CEDEX 20
France

For other countries ➔ International Bank Account Number (IBAN) :

IBAN
FR 16 20041 01008 1822226V029 88

and ➔ Bank Identifier Code (BIC) :

BIC
PSSTFRPPMAR

Les statuts de l'association (en français) sont accessibles sur son site. La comptabilité y est accessible en ligne, en temps réel. L'association ne prélève sur ces dons aucune somme, en dehors des frais de transfert bancaire, de manière que les sommes versées aux traducteurs soient nettes.

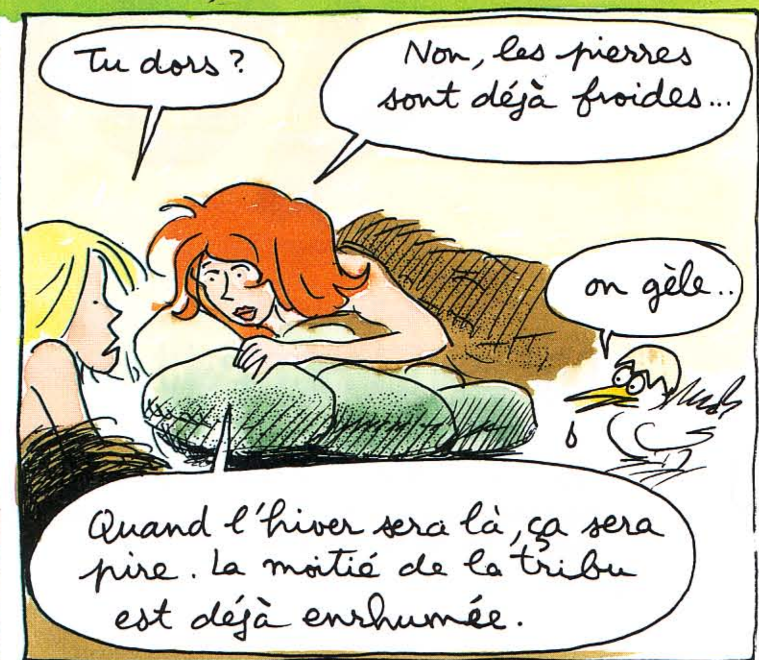
L'association ne salarie aucun de ses membres, qui sont tous des bénévoles. Ceux-ci assument eux-mêmes les frais de fonctionnement, en particulier de gestion du site, qui ne sont pas supportés par l'association.

Ainsi, vous pourrez être assurés, dans cette sorte « d'œuvre humanitaire culturelle » que quelle que soit la somme que vous donniez, elle sera *intégralement* consacrée à rétribue les traducteurs.

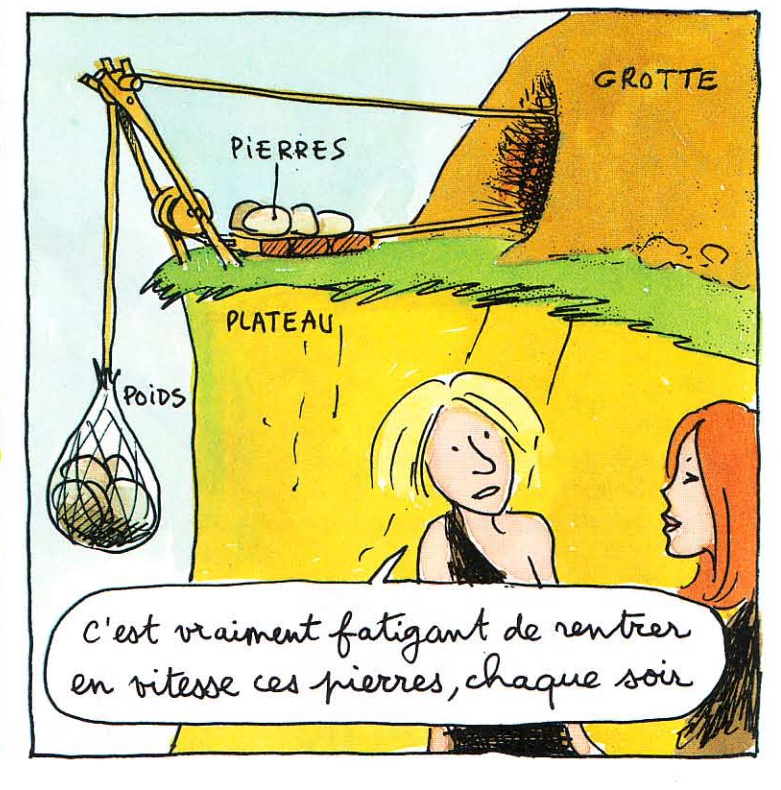
Nous mettons en ligne en moyenne une dizaine de nouvelles traductions par mois.


PROLOGUE
Il était une fois un monde où les hommes ne connaissaient pas le feu. Ils cuisaient leurs aliments en les exposant au Soleil.
Ce serait bien si on pouvait trouver autre chose...

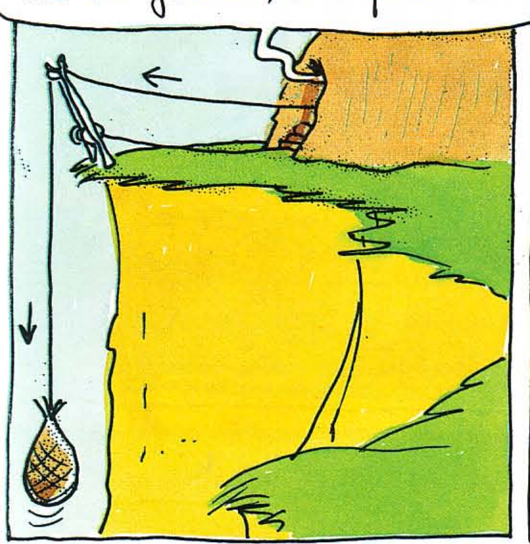

Quand la nuit venait, ils rentraient dans leurs grottes de lourdes pierres, qui avaient emmagasiné la chaleur du Soleil.
..tuant...

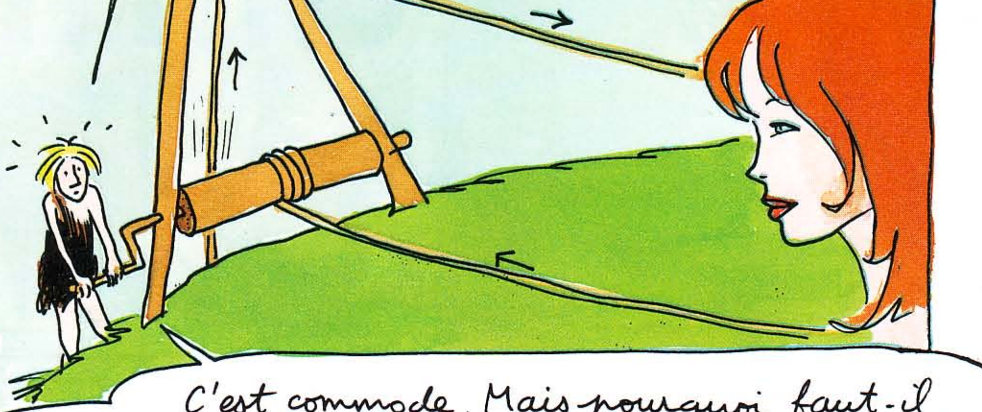

Tu dors?
Non, les pierres sont déjà froides...
on gèle..
Quand l'hiver sera là, ça sera pire. La moitié de la tribu est déjà enrhumée.


qu'est-ce que tu fais?
Je cherche un moyen de STOCKER L'ÉNERGIE


GROTTE
PIERRES
PLATEAU
POIDS
C'est vraiment fatigant de rentrer en vitesse ces pierres, chaque soir

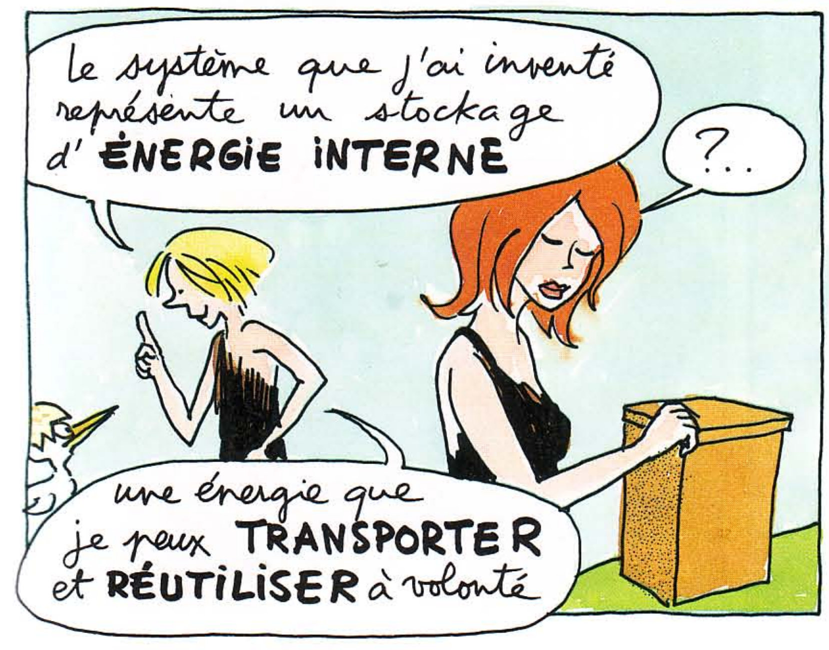

Alors j'ai conçu un système qui tire ce plateau chargé de pierres chaudes, à l'intérieur de la grotte, chaque soir




Et, dans la journée, je remonte ma charge
Tu stockes de l'**ÉNERGIE POTENTIELLE**
C'est commode. Mais pourquoi faut-il que cela soit toujours nous qui fournissions le **TRAVAIL?**


Qu'est-ce que tu fais maintenant, Anselme?
Je perfectionne ma méthode de **STOCKAGE DE L'ÉNERGIE**


Voilà !
Tu veux dire que tu as stocké de l'energie à l'**INTÉRIEUR** de cette boîte?
?


Le système que j'ai inventé représente un stockage d'**ÉNERGIE INTERNE**
?..
une énergie que je peux **TRANSPORTER** et **RÉUTILISER** à volonté

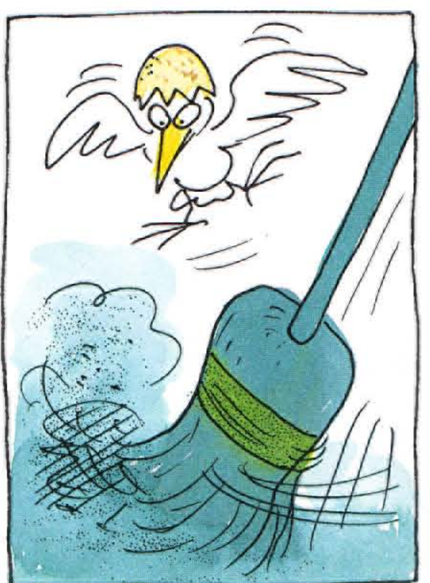

AAAAAHHH
CLAP!



L'ÉNERGIE CHIMIQUE

Je vais faire un peu le ménage dans la grotte. Voyons, du salpêtre, du soufre...















Sophie ! j'ai trouvé ! Il y a de l'ÉNERGIE dans cette POUDRE NOIRE que je viens d'inventer
on va pouvoir l'utiliser pour cuire les aliments et pour se chauffer !
tu vas voir...
Si tu veux mon avis, c'est une bonne invention, mais ça n'est pas très commode à utiliser
Dois-je renoncer ?
Et si on mélangeait cette poudre à du sable ?
Ça marche !!! le sable calme ce mélange, qui libère son énergie plus doucement !
le dégagement de chaleur peut être contrôlé
Nous ne serons plus transis de froid cet hiver...

ça donne beaucoup de chaleur, mais on a du mal à respirer

on peut en crever, tu veux dire!

Voilà. En stockant la fumée dans cette outre, ça va mieux.

Elle se condense en poussière, dont je peux me débarrasser.

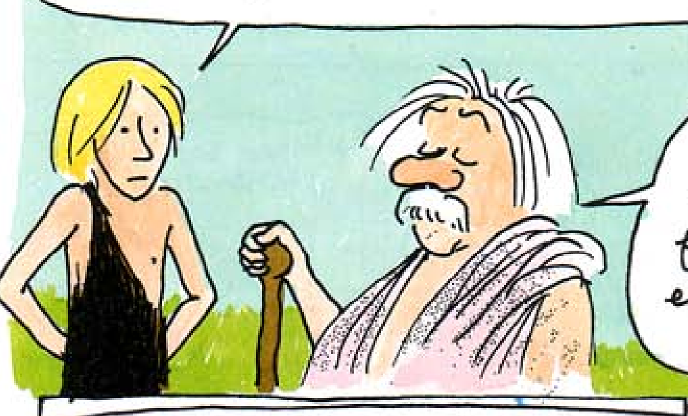
C'est bien. Mais c'est quand même pas super commode...

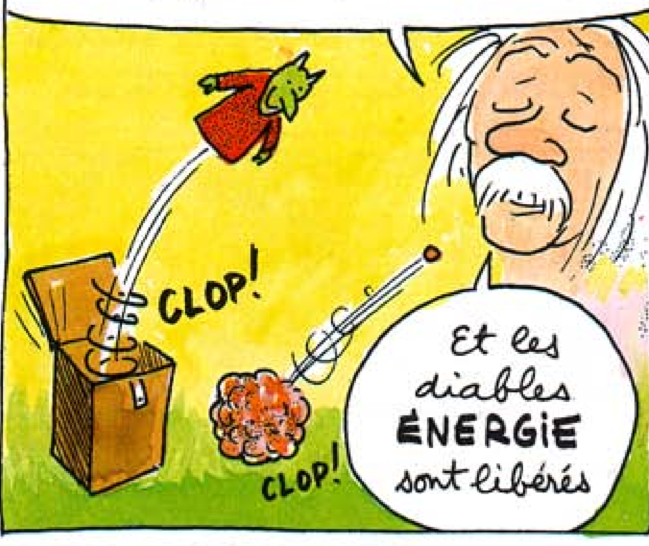
Pas moyen de jeter tout cela n'importe où. Sinon je vais empoisonner l'eau du lac

L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE






...des bôtes, avec des diables dedans!?
Une légende dit que, jadis, de l'ÉNERGIE fut enfermée dans les NOYAUX de certains ATOMES comme l'URANIUM. Ces atomes ont été fabriqués dans les soleils, dans leurs fournaises infernales, puis éjectés et emprisonnés dans la masse de la Terre lors de sa formation.


Mais ces atomes ne sont pas des boîtes solides. Et, de temps en temps, un couvercle lâche.
CLOP!
CLOP!
Et les diables ÉNERGIE sont libérés

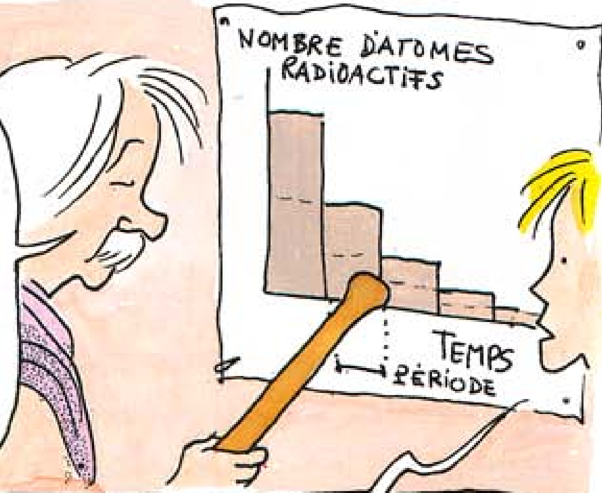

La légende dit qu'à la FIN DES TEMPS, tous les diables seront sortis des boîtes et que l'Univers n'aura plus d'énergie de cette sorte.
Et il se dégonflera comme une vessie de porc


Mais cela durera longtemps, très longtemps...
Ah, quand même
Et il faut remercier les dieux d'avoir été prévoyants, de nous avoir mis tant d'énergie de côté.


Et, combien de temps les diables restent-ils dans les boîtes? Combien de temps ces NOYAUX gardent-ils cette ÉNERGIE qu'ils possèdent?
Mon fils, cela dépend des boîtes, cela dépend des noyaux d'atomes.

PÉRIODE D'UN ÉLÉMENT RADIOACTIF

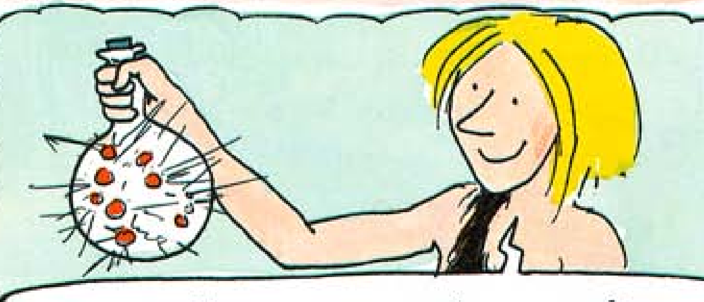
Si on considère un ensemble de boîtes contenant des diables, au bout d'un temps **T** appelé **DEMI-VIE** ou **PÉRIODE**, la **MOITIÉ** des boîtes auront libéré leur diable. Dans un laps de temps identique, la moitié des boîtes qui restent s'ouvriront à leur tour. Et ainsi de suite. Cette demi-vie peut être très variable : des milliards d'années ou des fractions de seconde.



Et, s'il n'y avait pas toutes ces boîtes avec leur diable, tous ces noyaux chargés d'énergie, dans le cœur de la Terre, nous aurions beaucoup plus froid l'hiver

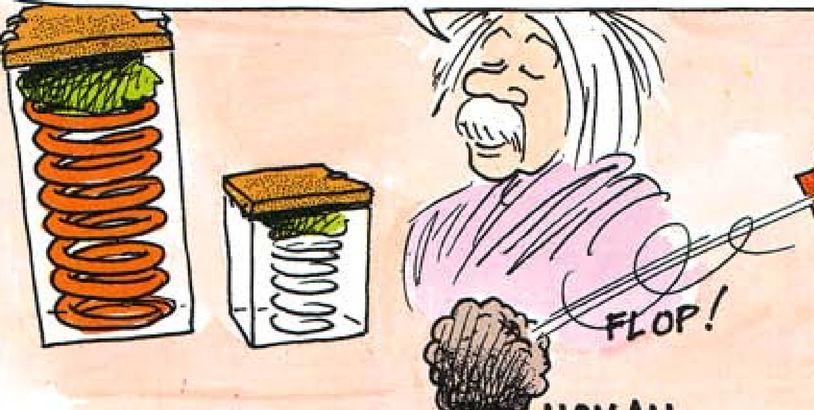
Ce serait bien si je pouvais trouver tous ces atomes chargés d'énergie





Il me suffirait d'en réunir suffisamment dans une bouteille pour me chauffer tout l'hiver !

Attention, Anselme, les ressorts de l'**ÉNERGIE NUCLÉAIRE** sont infiniment plus puissants que ceux de l'**ÉNERGIE CHIMIQUE**. Des **CENTAINES DE MILLIERS DE FOIS PLUS PUISSANTS**.



les diables émis par les noyaux radioactifs jaillissent ainsi avec une grande violence

Voyons un peu si ce que me dit monsieur Albert est vrai. Les fermetures de ces boîtes glissent progressivement. Ainsi elles s'ouvrent une à une.

Je mets ces boîtes les unes à côté des autres

Bon, au bout du temps de demi-vie, la moitié des boîtes se sont vidées

CLOP! CLOP! CLOP! CLOP! CLOP! CLOP!

Monsieur Albert avait raison

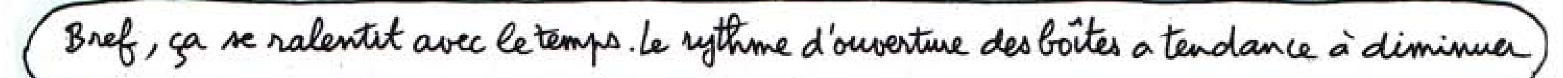
Hé!

Au bout d'un second laps de temps, identique, la moitié des boîtes restantes ont également éjecté leur diable.

Ce qui fait que 3/4 des boîtes se sont vidées...

CLOP! CLOP! CLOP!

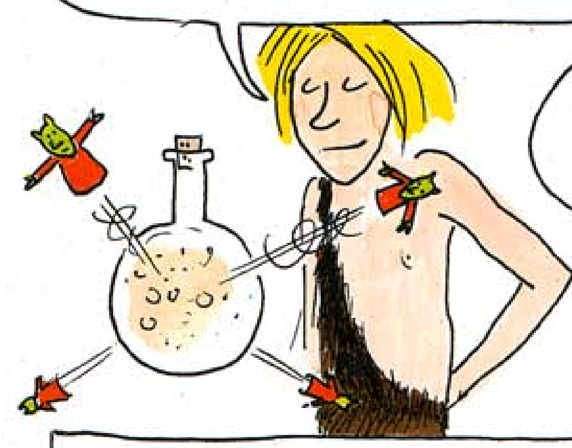
et ainsi de suite







CONVERSION DE L'ÉNERGIE











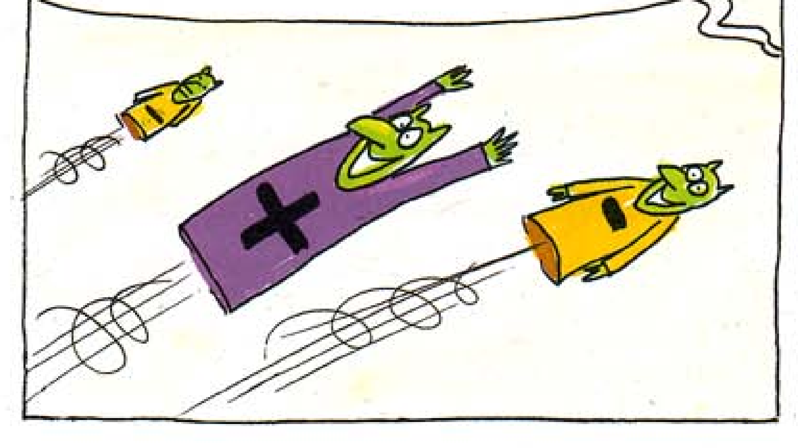
LES DIFFÉRENTES ESPÈCES DE DIABLES

Concrètement, il n'y a pas qu'une espèce de diables. La première chose que les noyaux peuvent émettre, c'est du **RAYONNEMENT X** ou γ. Une sorte de lumière invisible.



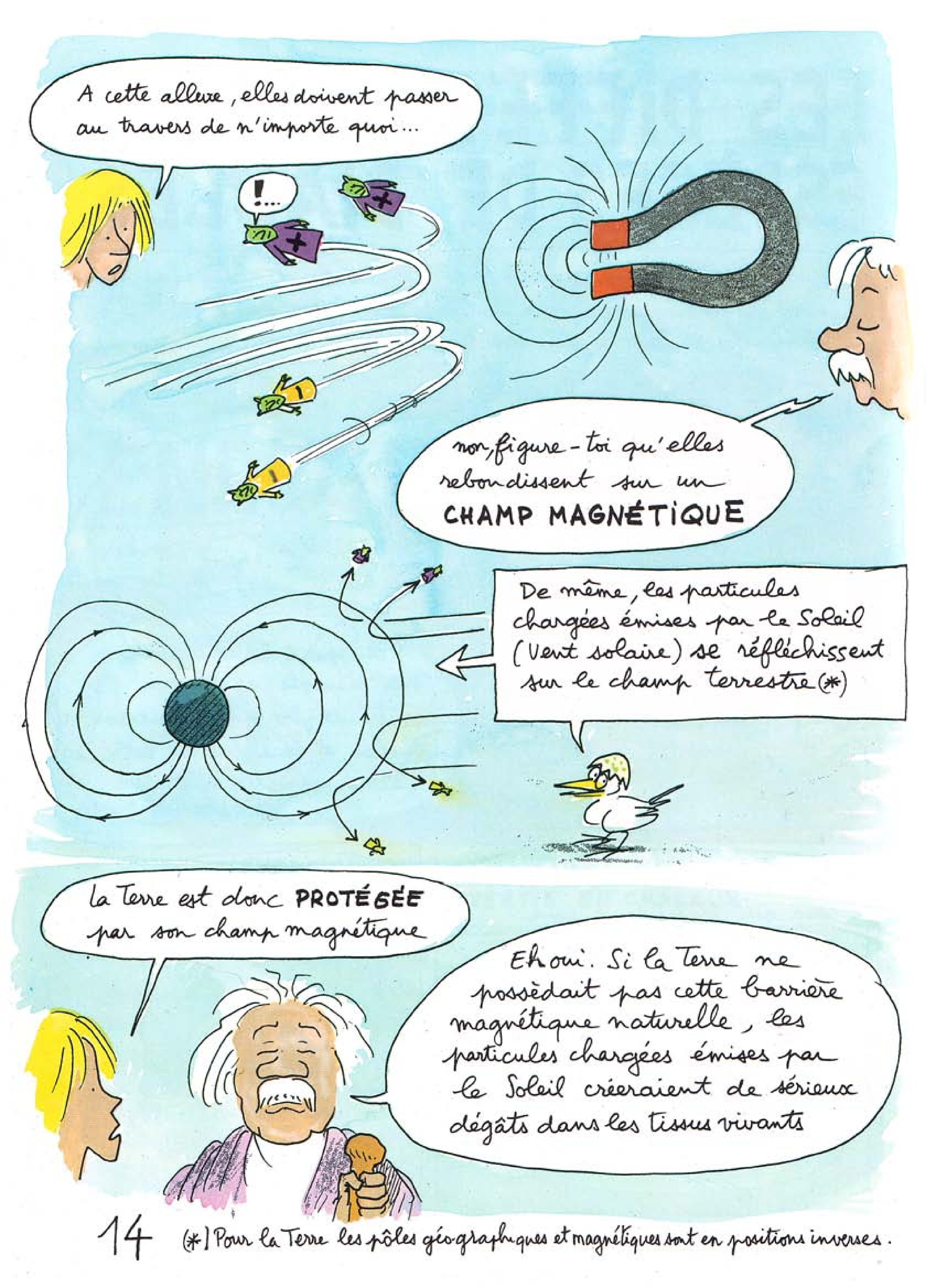
On peut les absorber par escemple avec une barrière de plomb suffisamment épaisse et leur énergie est alors convertie en chaleur

D'autres types de diables sont ceux qui possèdent une **CHARGE ÉLECTRIQUE**.

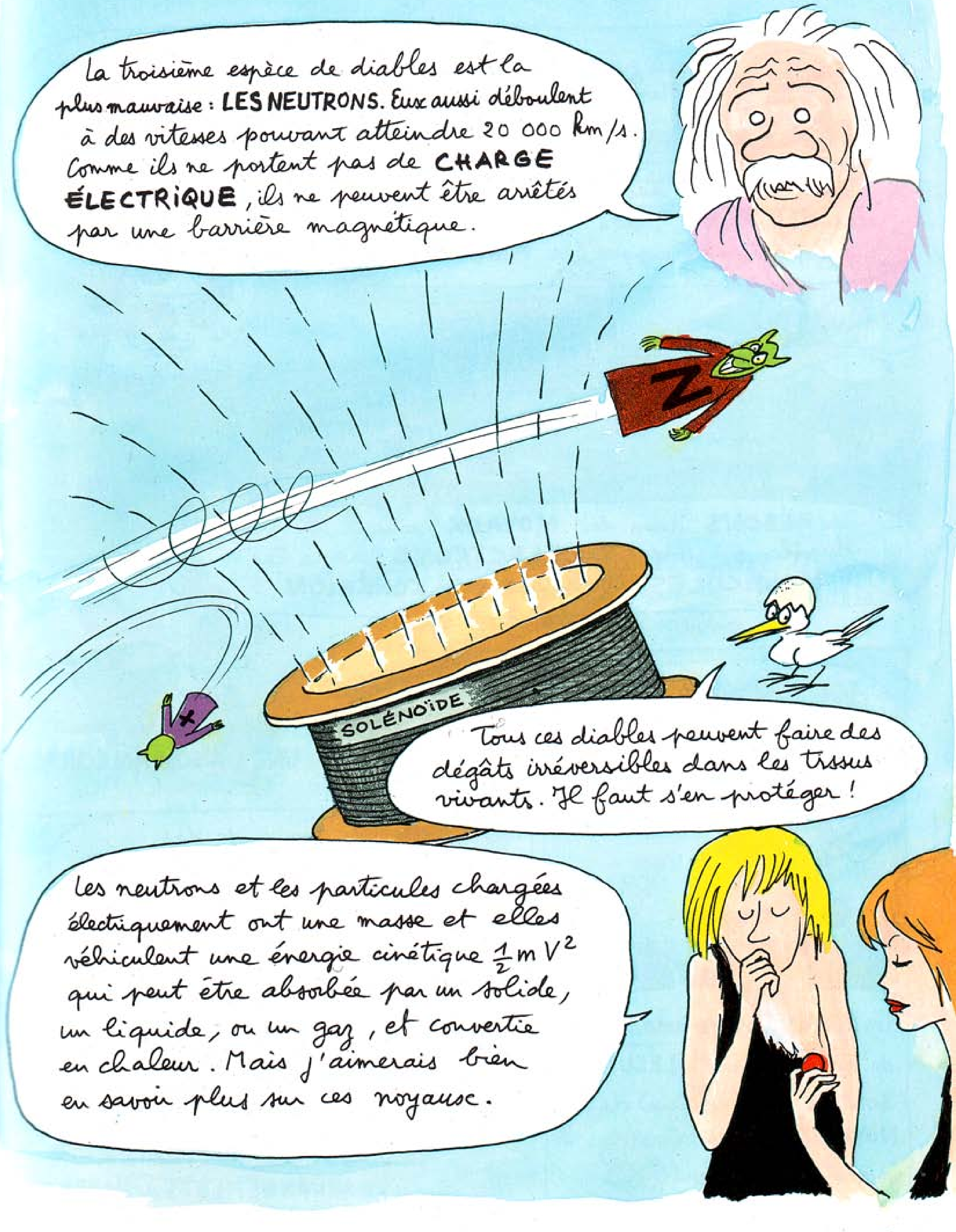


et ils vont vite?





(*) Pour la Terre les pôles géographiques et magnétiques sont en positions inverses.


La troisième espèce de diables est la plus mauvaise : LES NEUTRONS. Eux aussi déboulent à des vitesses pouvant atteindre 20 000 km/s. Comme ils ne portent pas de CHARGE ÉLECTRIQUE, ils ne peuvent être arrêtés par une barrière magnétique.
N
SOLÉNOÏDE
Tous ces diables peuvent faire des dégâts irréversibles dans les tissus vivants. Il faut s'en protéger !
Les neutrons et les particules chargées électriquement ont une masse et elles véhiculent une énergie cinétique $\frac{1}{2} m V^2$ qui peut être absorbée par un solide, un liquide, ou un gaz, et convertie en chaleur. Mais j'aimerais bien en savoir plus sur ces noyaux.

STABILITÉ DES NOYAUX

Pour fabriquer des **NOYAUX**, il faut des **NEUTRONS**, des **PROTONS** et des particules appelées **MÉSONS**



Plutonium 239
94 PROTONS
+145 NEUTRONS
=239 NUCLÉONS

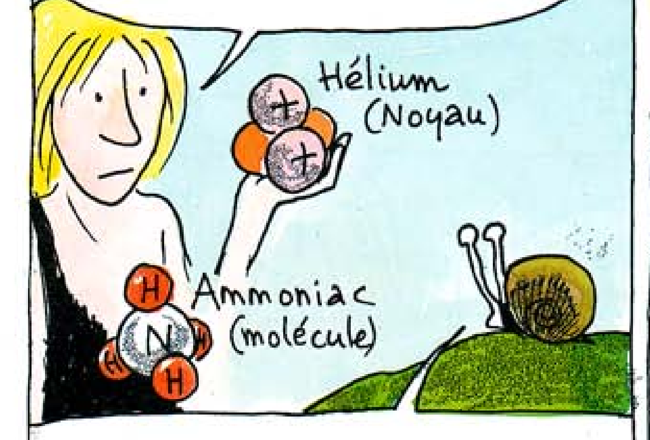
NOYAU

MÉSONS

les **MÉSONS** dans les **NOYAUX**, jouent un peu le rôle que jouent les **ÉLECTRONS** dans les **MOLÉCULES**: ils assurent la **COHÉSION**.

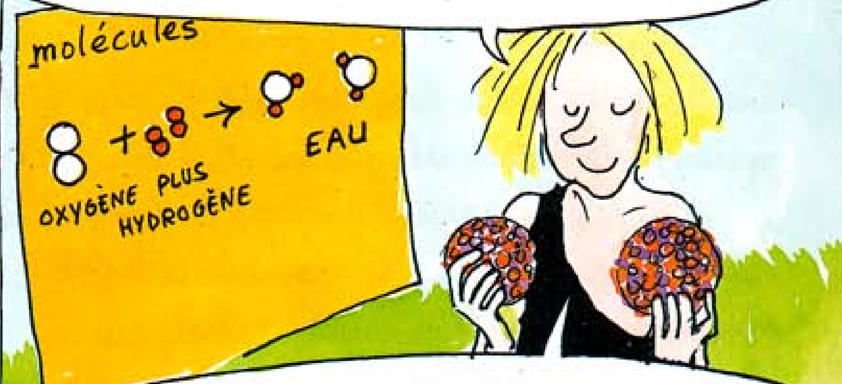


Alors, les **NOYAUX** sont des **MOLÉCULES** ?



les **NOYAUX** sont des assemblages de **NUCLÉONS**. les **MOLÉCULES** sont des assemblages de **NOYAUX**. Et, nous-mêmes, sommes des assemblages de molécules.

la **CHIMIE** traduit des réarrangements de **MOLÉCULES**

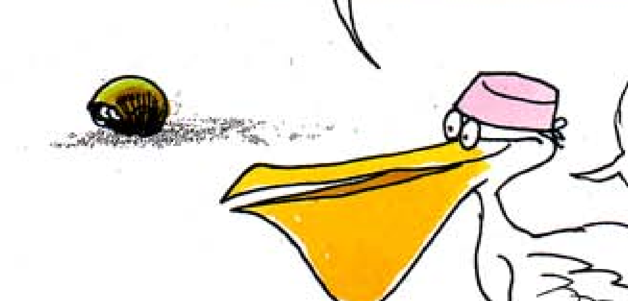


la **PHYSIQUE NUCLÉAIRE** étudiera des **RÉARRANGEMENTS** de **NOYAUX**

Un noyau considéré comme **INSTABLE** est un noyau à durée de vie brève

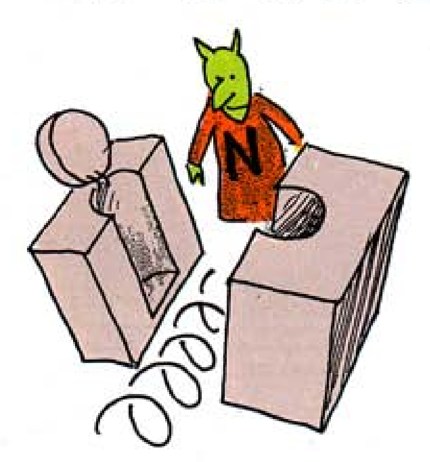


Mais des neutrons, agissant sur certains noyaux (eux-mêmes relativement stables, puisque dotés de durées de vie longues) peuvent les déstabiliser complètement et provoquer leur éclatement, leur **FISSION**

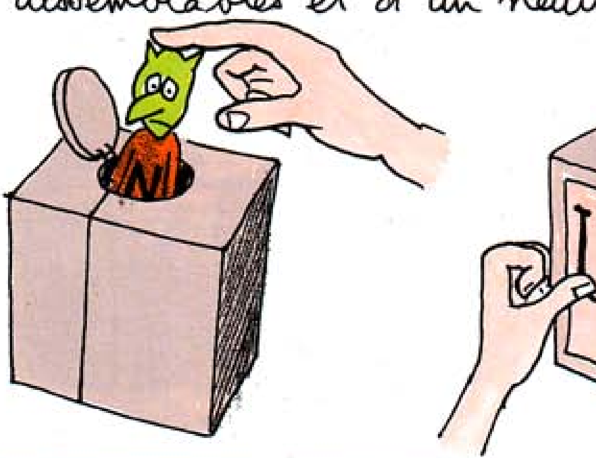


C'est le cas pour l'**URANIUM 235** et le **PLUTONIUM 239**

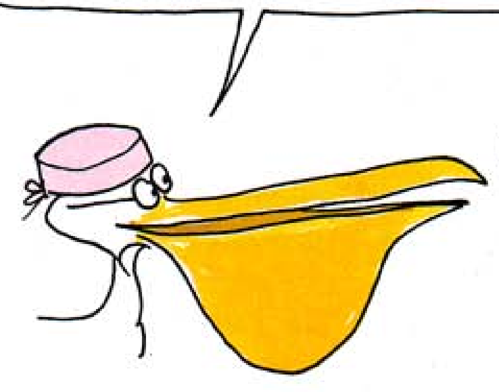
LA FISSION

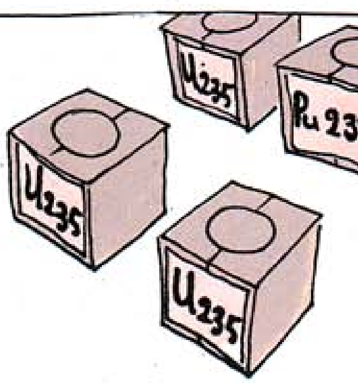


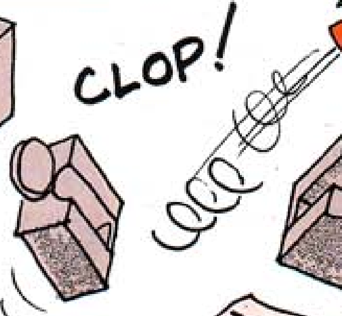
Ces noyaux peuvent être représentés comme un assemblage de deux blocs de masses dissemblables et d'un neutron.



les noyaux d'Uranium 235 et de Plutonium 239 présentent un certain type de radioactivité naturelle, associée à une période très longue











(*) Cette image est schématique. En fait le neutron incident est d'abord absorbé par le noyau fissile (l'U235 devient U236 et le Pu 239 devient Pu 240. Ce sont ces nouveaux objets, très instables, qui se brisent presqu'immédiatement.

RÉACTIONS EN CHAÎNE













LES CONDITIONS CRITIQUES



(*) on parle plus couramment de **MASSE CRITIQUE**

En fait, entre le taux d'émission faible de la **RADIOACTIVITÉ NATURELLE** et la **RÉACTION EN CHAÎNE**, on peut trouver un moyen terme. En jouant sur cette **CONCENTRATION**, bien que ce réglage soit assez pointu, on peut fixer le nombre de diables qui sont émis par seconde, c'est-à-dire le flux d'énergie dégagée

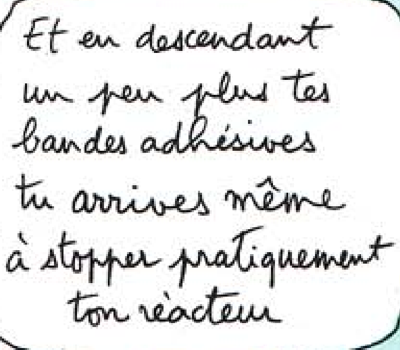


LE RÉACTEUR NUCLÉAIRE







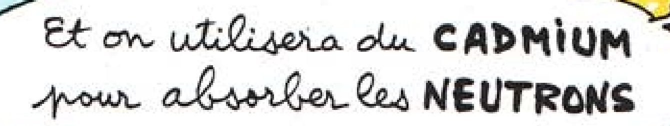




Bon. Pour faire un **RÉACTEUR NUCLÉAIRE**, il suffit de rassembler suffisamment de ces noyaux lourds, **URANIUM 235** ou **PLUTONIUM 239**
Et on contrôlera l'activité du réacteur avec un corps absorbant les diables, qui sont ici les neutrons de **FISSION**.



Concrètement, les minerais d'Uranium contiennent 0,7% d'Uranium 235 (FISSILE).
Le reste, c'est de l'Uranium 238, qui ne l'est pas



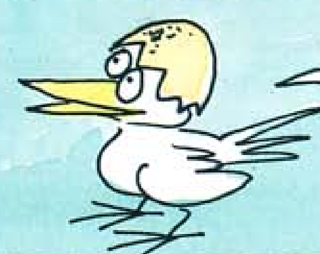


MATÉRIAU FERTILE

L'Uranium 238 peut être, lui aussi, considéré comme un assemblage de deux éléments. Il reste une place pour un neutron

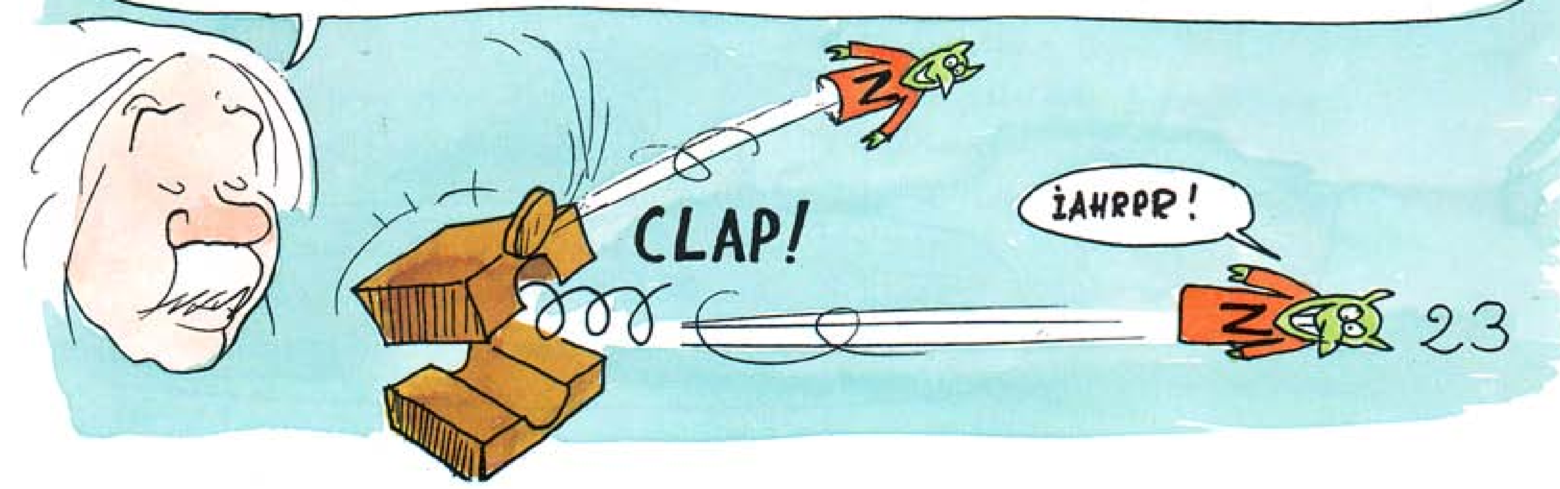






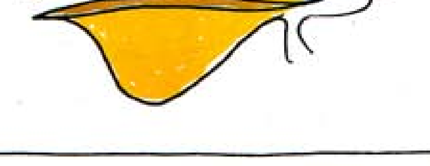
Une certaine quantité ça veut dire quoi ?

Tout dépend de la manière dont on fait fonctionner le réacteur. Au départ les NEUTRONS DE FISSION sont émis, dans tous les sens, à 20 000 kilomètres par seconde



RÉACTEURS À NEUTRONS RAPIDES

Ces **NEUTRONS RAPIDES** interagissent bien avec l'**U_{238}**, fertile, en créant du **Pu239**, fissile, à un bon rythme.



qu'est-ce que tu fais?

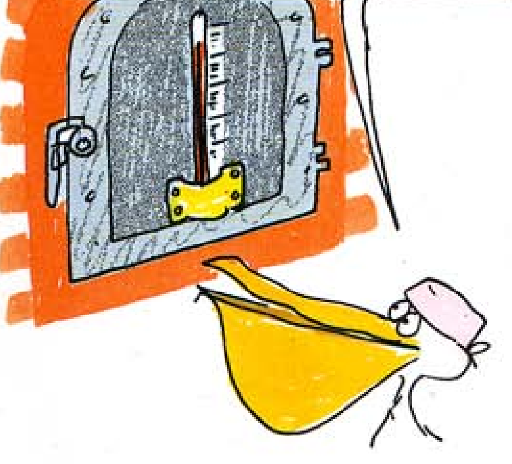


je charge mon réacteur avec un minerai riche en Uranium 235 (Uranium enrichi)

Puis je dispose une **COUVERTURE FERTILE** d'**U238**



les **NEUTRONS RAPIDES** évoluent à 20 000 km/s dans le **CŒUR** du **RÉACTEUR**. Si on les assimilait aux molécules d'un gaz, celui-ci serait à 16 milliards de degrés



TROIS ANS PLUS TARD

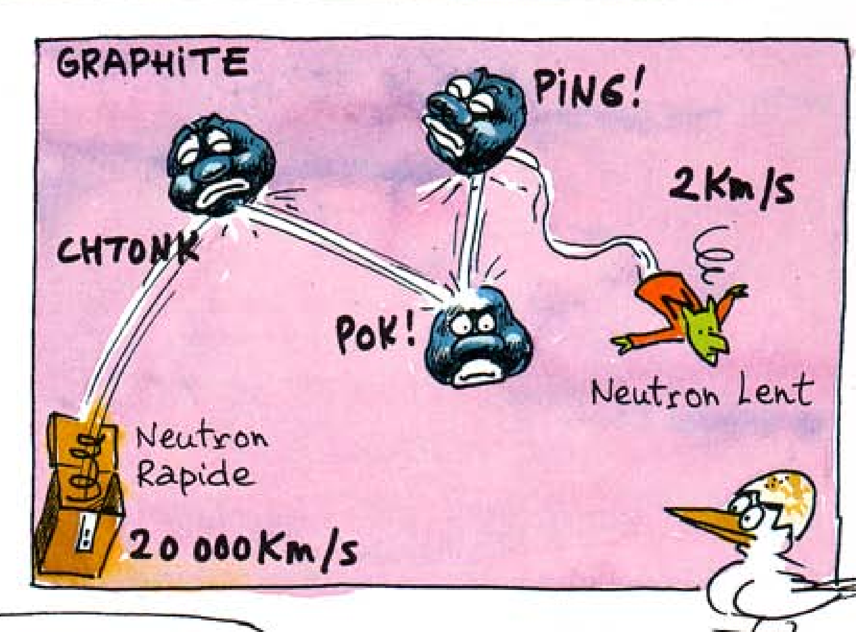
Oh! Anselme a fabriqué **PLUS** de **Pu239** fissile qu'il n'a consommé d'**U_{235}** C'est un **SURGÉNÉRATEUR**

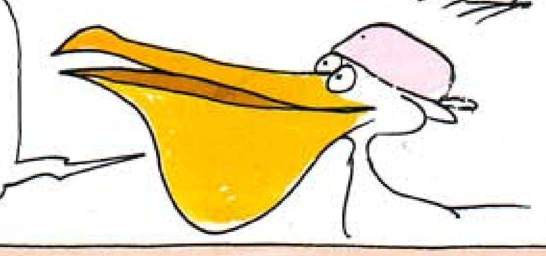
c'est normal, puisque chaque fission remet en jeu **DEUX** neutrons rapides, qui permettent de transformer 2 U_{238} en Pu 239

RÉACTEURS À NEUTRONS LENTS

Avec le **CADMIUM** je peux absorber les neutrons et ainsi régler le niveau d'activité du réacteur (ou l'arrêter carrément). Mais avec du **GRAPHITE** ou de l'**EAU LOURDE** je peux **RALENTIR** les neutrons sans les absorber. Ce sont des **MODÉRATEURS**.



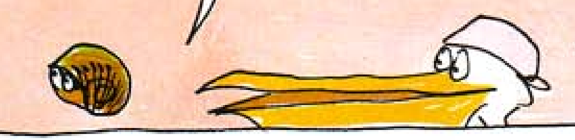




On peut ainsi descendre la **VITESSE D'AGITATION THERMIQUE** des neutrons à **2 Km/s**. Ce gaz de neutrons, froid, est à la température générale du réacteur

Il se fabrique toujours un peu de Pu 239, mais beaucoup moins que dans un réacteur à neutrons rapides

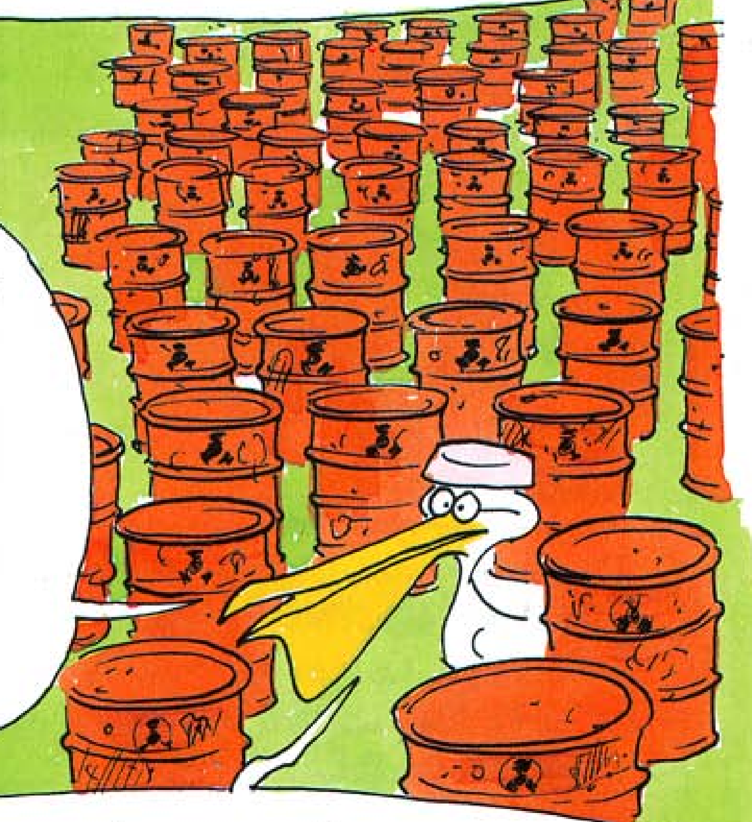
Il n'y a pas de frontière nette entre ces deux types de réacteurs. Il existe aussi bien des réacteurs à neutrons "tièdes", à mi-chemin entre l'un et l'autre

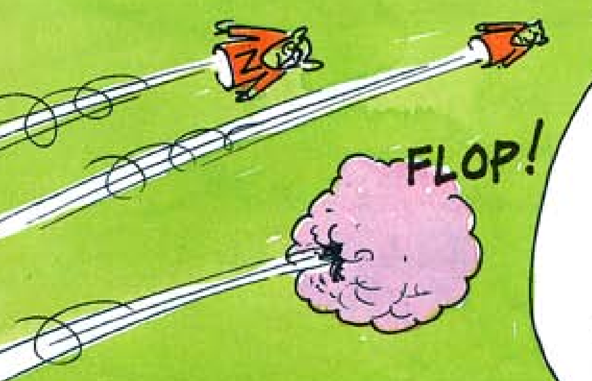


DÉCHETS RADIOACTIFS RADIOACTIVITÉ INDUITE

Les noyaux d'U235 et de Pu 239 peuvent se scinder en deux morceaux d'un grand nombre de façons différentes. Ici un exemple où de l'Uranium 235 se scinde en Strontium 94 et en Xénon 140 radioactifs. Noter que 94 + 140 + 1 = 235

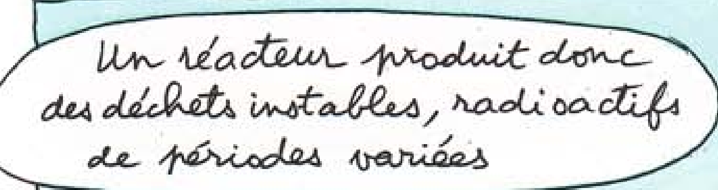
Tout cela est très embêtant.
Beaucoup de ces **PRODUITS DE FISSION** ont la vie dure et resteront radioactifs pendant longtemps. Le **STRONTIUM** se fixe dans les os et l'**IODE** dans la thyroïde. Le Plutonium aussi est très dangereux. Tout cela provoque des **CANCERS** et des **LEUCÉMIES**.





Les neutrons de fission peuvent aussi être absorbés par des atomes paisibles, constituant la structure du réacteur, en les transformant en de dangereux instables, radioactifs eux aussi, qui iront grossir la masse des déchets.

RADIOÉLÉMENTS SUR MESURE

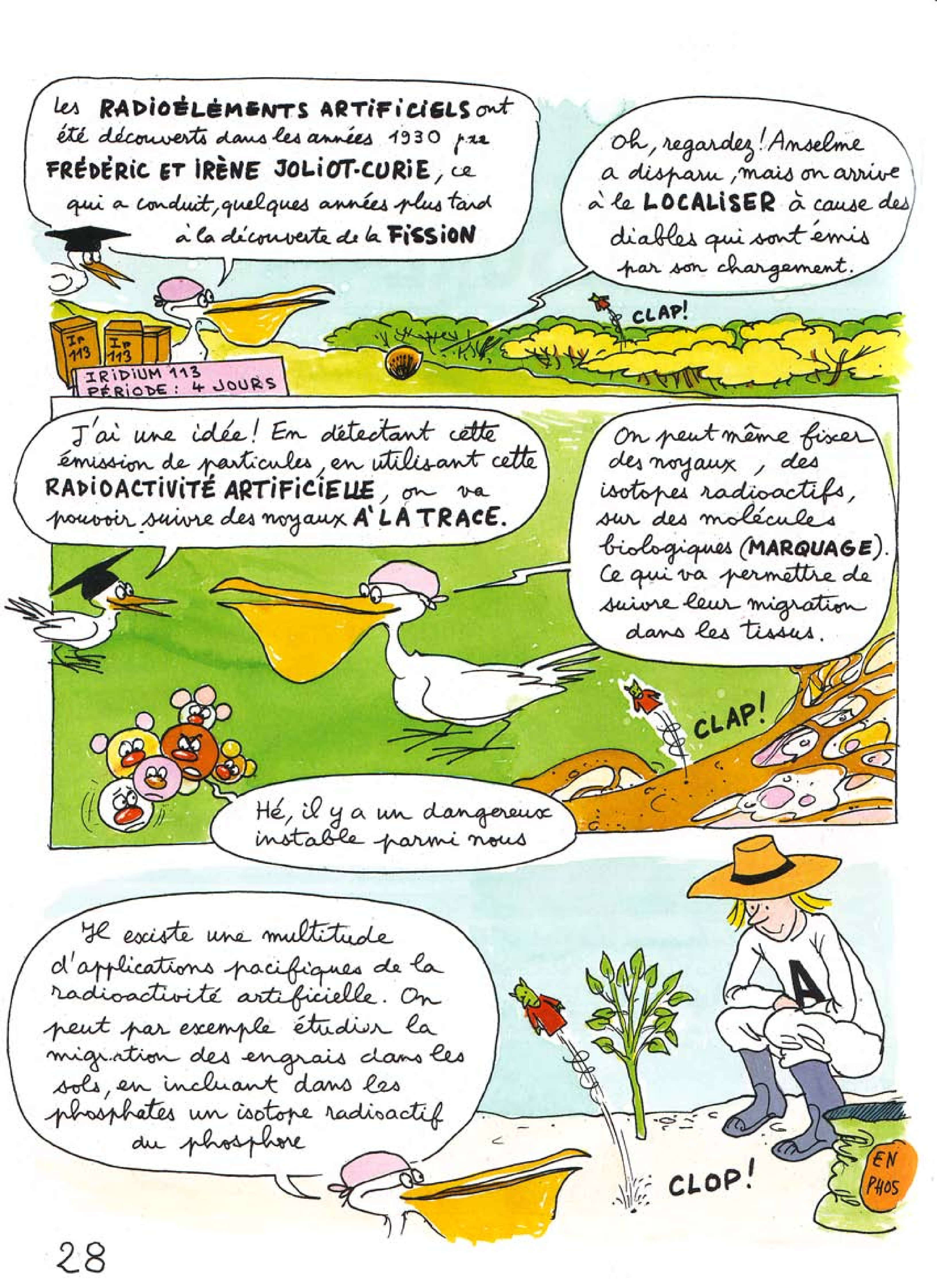




On peut fabriquer des radioéléments ayant des périodes variées, des noyaux radioactifs "sur mesure", en plaçant certains éléments dans le réacteur et en les soumettant au bombardement des diables. On obtiendra ainsi une radioactivité qualifiée d'**ARTIFICIELLE**.



(*) Radioactivités "alpha" ou "béta"



les RADIOÉLÉMENTS ARTIFICIELS ont été découverts dans les années 1930 par FRÉDÉRIC ET IRÈNE JOLIOT-CURIE, ce qui a conduit, quelques années plus tard à la découverte de la FISSION
Oh, regardez! Anselme a disparu, mais on arrive à le LOCALISER à cause des diables qui sont émis par son chargement.
CLAP!
Ir 113
Ir 113
IRIDIUM 113
PÉRIODE : 4 JOURS
J'ai une idée! En détectant cette émission de particules, en utilisant cette RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE, on va pouvoir suivre des noyaux À LA TRACE.
On peut même fixer des noyaux, des isotopes radioactifs, sur des molécules biologiques (MARQUAGE). Ce qui va permettre de suivre leur migration dans les tissus.
CLAP!
Hé, il y a un dangereux instable parmi nous
Il existe une multitude d'applications pacifiques de la radioactivité artificielle. On peut par exemple étudier la migration des engrais dans les sols, en incluant dans les phosphates un isotope radioactif du phosphore
A
CLOP!
EN PHOS

LES BOMBES A

La Physique Nucléaire a permis à la Science des Feux d'Artifice de progresser considérablement.
En réunissant brutalement deux masses de matériau fissile (U_{235} ou Pu_{239}) à l'aide d'un explosif, on crée les conditions critiques et on provoque une intense réaction en chaîne, et des effets au caractère esthétique indéniable.

voyons. En réunissant ces deux masses, j'obtiens la **MASSE CRITIQUE**.

A

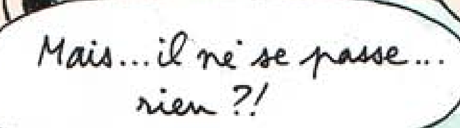
Un grand nombre de diables de toutes espèces sont émis et les déchets radioactifs sont entraînés dans la haute atmosphère par l'ascendance due à l'intense dégagement de chaleur.
Ce qui permet d'en faire profiter les voisins.

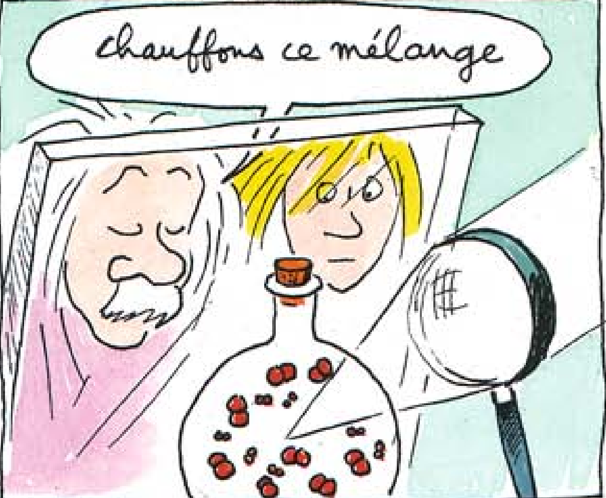
Si vous voulez entrer dans le club des **JOYEUX ARTIFICIERS**, il vous faudra disposer d'un matériau fissile pur (100% d'U_{235} ou de Pu_{239})
Vous avez deux solutions : ou raffiner de l'Uranium naturel, ou vous adresser au réacteur le plus proche de votre domicile, en recueillant le Pu_{239} produit après chaque cycle de fonctionnement.

ça vient, ça vient !..

LA FUSION





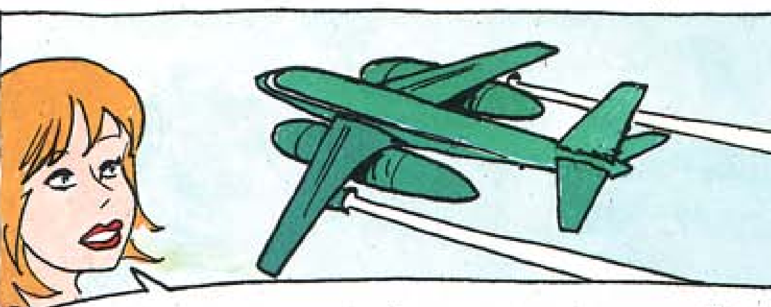








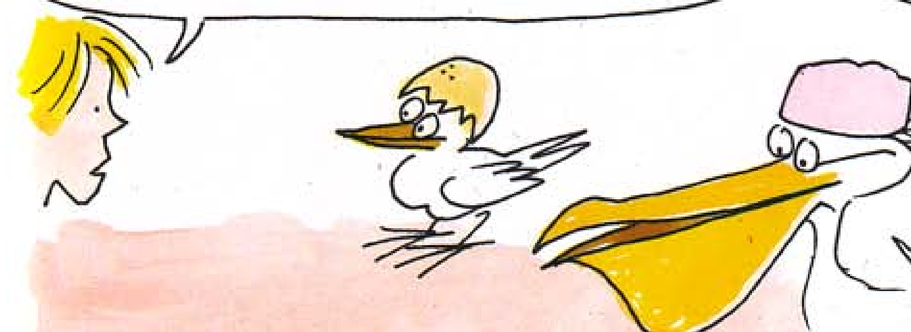
Alors, il y a des réactions qui dégagent beaucoup d'énergie sans produire de substance toxique



Si un jour on utilise des avions volant avec un mélange hydrogène-oxygène (stockés à l'état liquide) ils ne laisseront sur leur passage que des... nuages !

"On peut peut-être aussi faire "brûler" des mélanges de noyaux

à condition de les porter à assez forte température



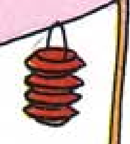
On peut faire réagir du **DEUTÉRIUM** et du **TRITIUM**, qui sont deux espèces d'**HYDROGÈNE LOURD** (le noyau de l'hydrogène léger est constitué d'un seul proton **P**). Les noyaux de ces **ISOTOPES** ne différant que par leur nombre de neutrons. Le mélange Deutérium - Tritium tend à donner de l'Hélium

DEUTÉRIUM TRITIUM HÉLIUM





GRAND BAL DIABOLIQUE



Voici un élément de gaz d'**HYDROGÈNE LOURD**, moitié **DEUTÉRIUM**, moitié **TRITIUM**. A la température ordinaire, les **ÉLECTRONS** tournent autour des noyaux et assurent des liaisons moléculaires (en liant les noyaux deux par deux.)



Molécule de Deutérium



Molécule de Tritium

Puis le rythme du bal devient réellement endiablé. Les molécules se brisent (dissociation) et les abeilles-électrons orbitent autour d'un seul noyau

VERS TROIS MILLE DEGRÉS :

Pas moyen d'orbiter autour de ces noyaux, ils bougent sans cesse

Pfff...

oui, ça devient infernal. Moi j'abandonne...

Le gaz chaud devient alors une soupe de noyaux et d'électrons libres un **PLASMA CHAUD.**

Chauffe, Marcel, chauffe !

A partir de **150 MILLIONS DE DEGRÉS (TEMPÉRATURE D'IGNITION)** il se produit quelque chose

Vous savez quoi ? On serait mieux à quatre

ils sont excités..

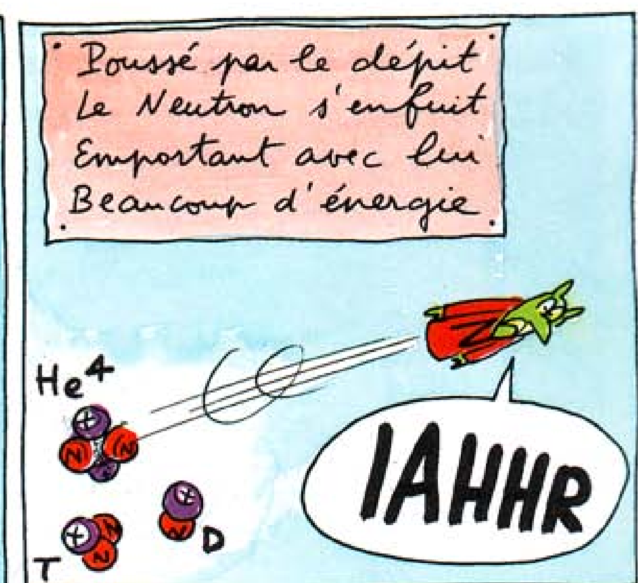
Vous croyez ?

je sens le coup fourré

oui, à cette température, ça serait plus **STABLE**

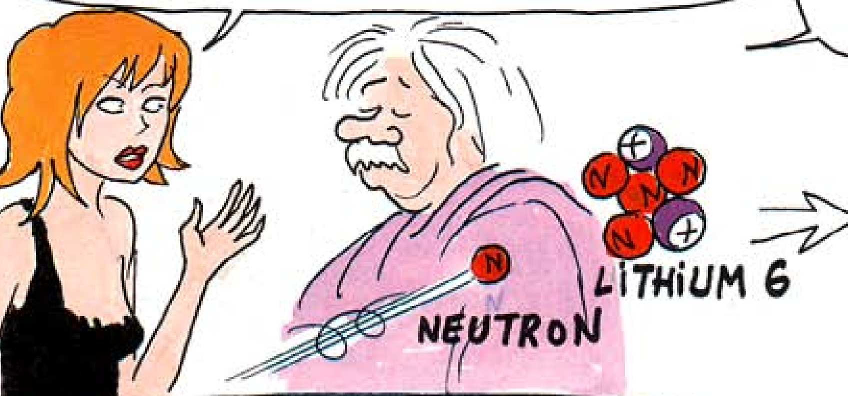
Hé, attendez !.. 2+3 = 5, et l'hélium a 4 nucléons, non ?

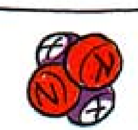




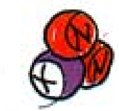
Alors, la **FUSION** est aussi polluante que la **FISSION**, car ces neutrons de fusion vont transformer les atomes voisins, en les changeant en atomes radioactifs

Mais on s'efforce d'absorber ces neutrons avec du lithium 6, qui donnera de l'hélium 4 et du tritium 3





HÉLIUM 4

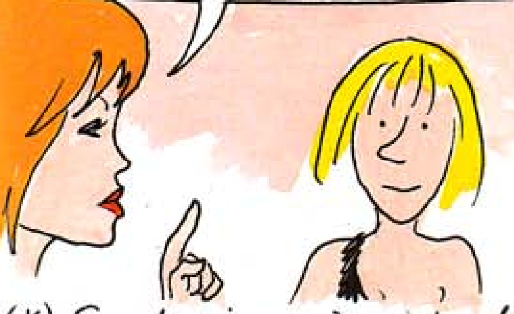


TRITIUM3

Autrement dit, l'enveloppe de lithium 6 se comporte comme un matériau "fertile". Cette réaction est censée fournir du "carburant de fusion", du tritium 3.

oui, un réacteur à fusion a une parenté avec le surgénérateur. Et c'est heureux, car le Tritium, instable (*) n'existe pas à l'état naturel

mais il y a seulement régénération du Tritium



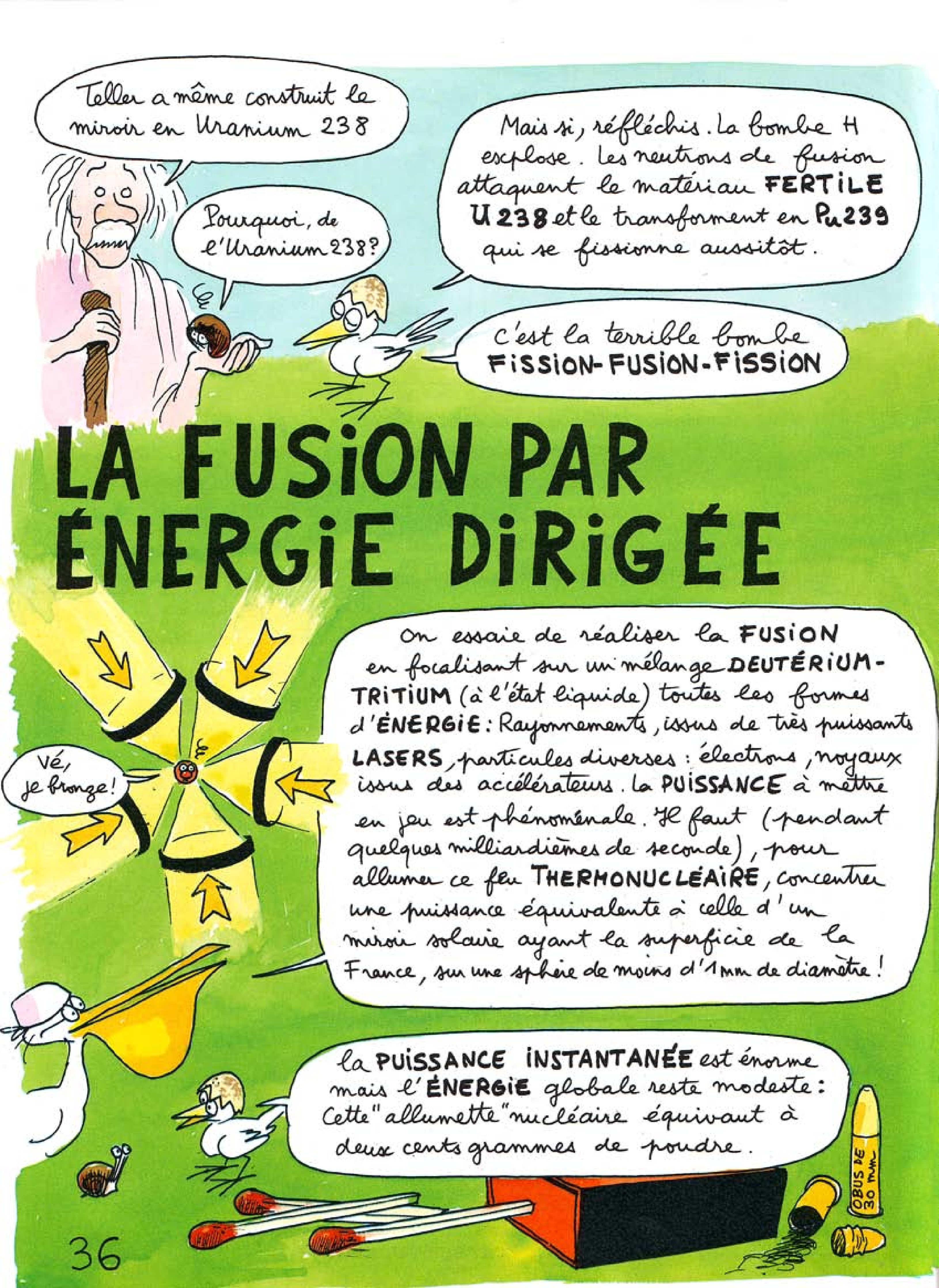
(*) Sa demi - vie n'est que de 12 années



Pourtant, je vois qu'il existe des tas de réactions de fusion, de réarrangements de noyaux, qui ne donnent pas de neutrons libres
Li7
H1
He4
He4
Lithium 7 + Hydrogène 1 (léger) donnant 2 Hélium 4 (7+1 = 2 x 4)
Bore 11 + Hydrogène 1 donnant 3 Hélium 4 (11+1 = 3 x 4)
PHYSIQUE NUCLÉAIRE
H1
B11
3He4
La première a une température d'ignition de 500 millions de degrés. Et, pour la seconde, on frôle le milliard de degrés !..
Hmm .... évidemment... Concrètement, comment fusionne-t-on des noyaux ?
Dans le coeur du Soleil, cela s'effectue lentement, à une température qui est seulement de 15 millions de degrés
Le Soleil n'est qu'une braise quoi ?
Oui. Pour obtenir un "Feu" nucléaire, il faut 150 millions de degrés, pour que les réactions se produisent, disons, en un temps de l'ordre de la seconde.



(*) Edward Teller, chercheur à LOS ALAMOS pendant la guerre, a servi de modèle pour le film DOCTEUR FOLAMOUR

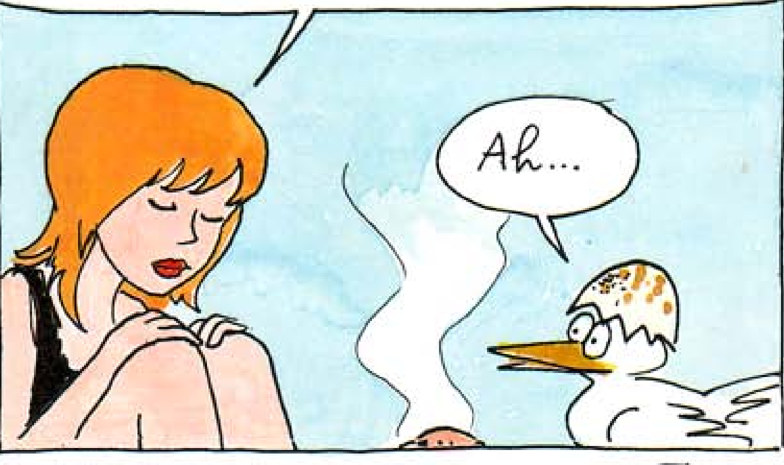


Teller a même construit le miroir en Uranium 238
Pourquoi, de l'Uranium 238 ?
Mais si, réfléchis. La bombe H explose. Les neutrons de fusion attaquent le matériau FERTILE U 238 et le transforment en Pu 239 qui se fissionne aussitôt.
C'est la terrible bombe FISSION-FUSION-FISSION
LA FUSION PAR ÉNERGIE DIRIGÉE
On essaie de réaliser la FUSION en focalisant sur un mélange DEUTÉRIUM-TRITIUM (à l'état liquide) toutes les formes d'ÉNERGIE : Rayonnements, issus de très puissants LASERS, particules diverses : électrons, noyaux issus des accélérateurs. La PUISSANCE à mettre en jeu est phénoménale. Il faut (pendant quelques milliardièmes de seconde), pour allumer ce feu THERMONUCLÉAIRE, concentrer une puissance équivalente à celle d'un miroir solaire ayant la superficie de la France, sur une sphère de moins d'1 mm de diamètre !
Vé, je bronze !
la PUISSANCE INSTANTANÉE est énorme mais l'ÉNERGIE globale reste modeste : Cette "allumette" nucléaire équivaut à deux cents grammes de poudre.
OBUS DE 30 mm

ÉPILOGUE



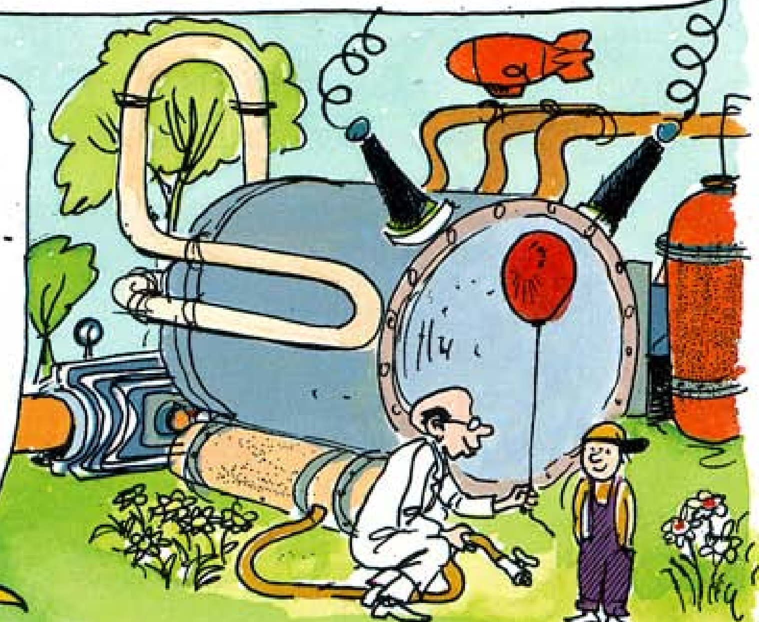




(*) Image due aux atomistes, selon laquelle le réacteur, traversant la Terre de part en part, réapparaîtrait... en Chine !...

Dans les réactions de fusion, où n'interviennent pas de neutrons à l'état libre, on peut théoriquement **CONFINER** ces **PLASMAS DE FUSION** à l'aide de puissants dispositifs magnétiques (les particules chargées "fuient" les régions où règnent des champs magnétiques intenses).

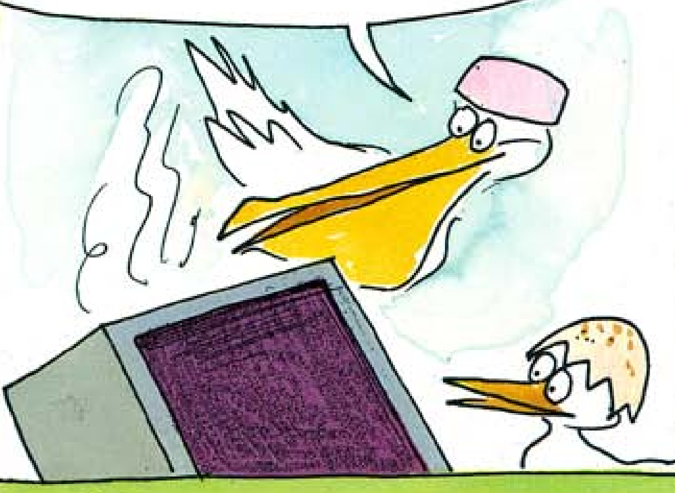
L'**AGE D'OR** ! la Centrale à fusion, non-polluante, (lithium-hydrogène ou bore-hydrogène). Seul produit de réaction : de l'hélium, avec lequel on pourrait gonfler des ballons pour les enfants !.



Laissez-moi rire, c'est du rêve !

Pourtant, il existe des poêles à catalyse qui permettent de faire du feu **CHEZ SOI**, fenêtres fermées, sans utiliser de cheminée !..

C'est vrai. Cela donne de la vapeur d'eau et du gaz carbonique, qui sont respirables, en quantité modérée.



Pourrait-il exister un **CATALYSEUR DE FUSION** qui permettrait d'opérer à température acceptablement basse ?

On en connaît déjà un : le Carbone

Eh oui, au fait, comment le Soleil se débrouille-t-il pour marcher par fusion, alors que sa chaudière centrale n'est qu'à **15 MILLIONS** de degrés, c'est-à-dire à une température **DIX FOIS PLUS FAIBLE QUE LA TEMPÉRATURE D'IGNITION**, qui est de **150 MILLIONS DE DEGRÉS** ?

Le Carbone sert de catalyseur. Il intervient dans les étapes, assez complexes, de la réaction et, en fin du compte, est régénéré.
Cela débute par Carbone 12 plus Hydrogène 1 donnant Azote 13, Puis cet azote 13 est transformé en azote 15, et enfin :
Azote 15 + Hydrogène 1 → Carbone 12 + Hélium 4
(Cycle de Bethe)

Mais cette réaction est beaucoup trop **LENTE** (sauf pour le Soleil, qui a tout son temps).

LES MUONS

On peut créer, dans un mélange gazeux froid, des réactions chimiques complexes en bombardant les molécules avec les électrons d'une simple décharge électrique.



Exemple :
$2CH_4$ (méthane)
+ ⚡ donne :
C_2H_2 (acétylène) + $3H_2$

On peut, dans une molécule remplacer les électrons par des **MUONS**, des particules qui ressemblent à de gros électrons et qui rapprochent les noyaux les uns des autres

Alors, pourquoi ne pas bombarder un mélange de Fusion "tiède" avec des Muons.

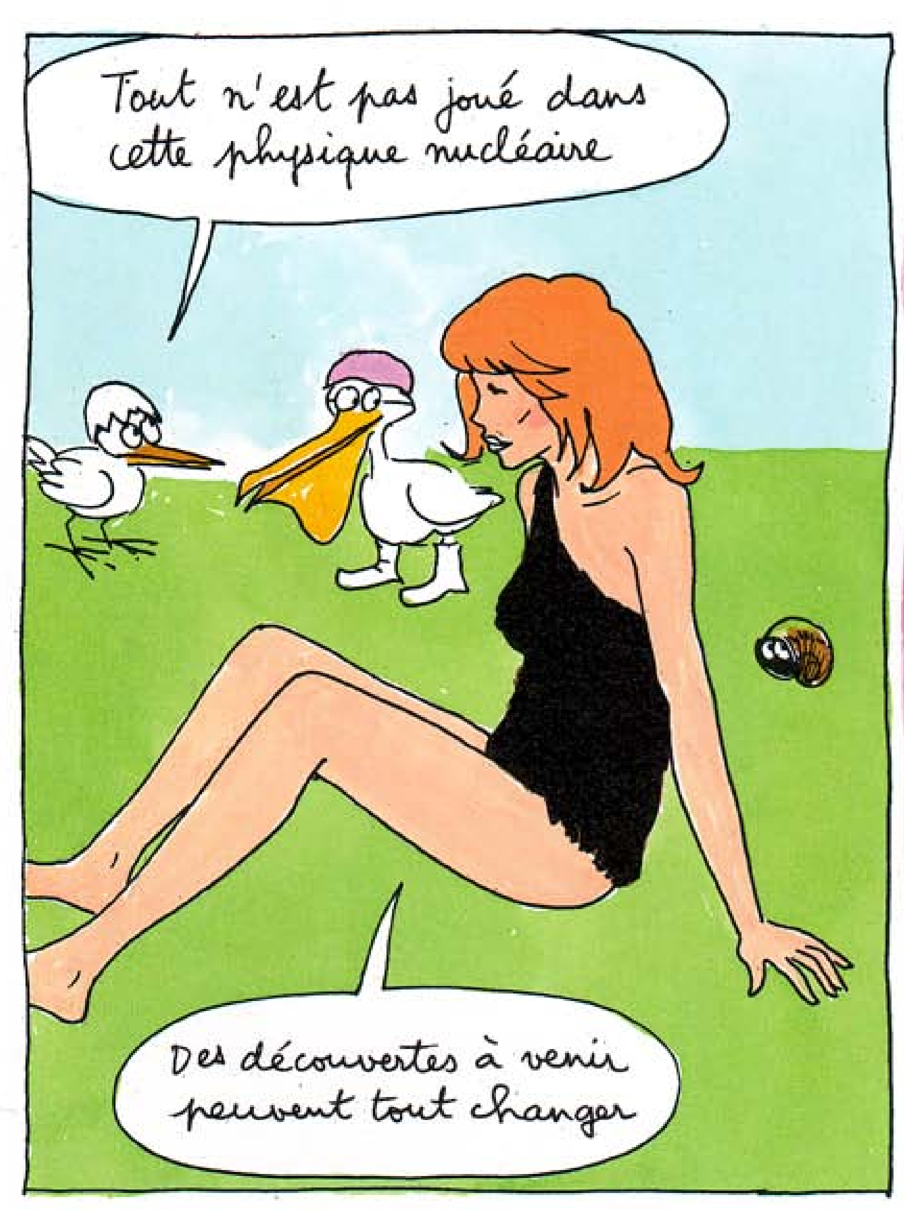



ça marche?
NO PROBLEM, SIR. On sait créer des muons dans un accélérateur. Quand ils percutent des noyaux de deutérium et de tritium, ça crée de l'hélium. Donc il y a fusion. Mais, entre cette expérience de microphysique, qui porte sur quelques particules et une fusion industrielle exploitable, il y a un sacré bout de chemin à faire !!!...


On peut aussi jouer sur les **SPINS** des noyaux. C'est-à-dire leur faire danser la valse au lieu du tango. Cela accroît l'efficacité des collisions.
la lune trop blême pare d'un diadème


BANG
Oh pardon!
..Pouvez pas faire attention!


Et voilà, c'est la même histoire qui recommence


Tout n'est pas joué dans cette physique nucléaire
Des découvertes à venir peuvent tout changer

Toute cette histoire ne fait que commencer. Qu'en penses-tu, Anselme ?..


Le nucléaire c'est **À LA FOIS** un immense espoir et une terrible menace
♫


oui, je t'écoute...


je suis le plus fort !..
!...
YEAH !
NON !
Je disais bien qu'inventer
le FEU a été une grave erreur...


Content ?
La Science, Pfff...
une si jolie planète
FiN